

Die Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Auerhühner *Tetrao urogallus* – Ergebnisse eines internationalen Forschungsprojektes

Joy Coppes, Kurt Bollmann, Veronika Braunisch, Wolfgang Fiedler, Veronika Grünschachner-Berger, Pierre Mollet, Ursula Nopp-Mayr, Karl-Eugen Schroth, Ilse Storch & Rudi Suchant

Coppes J, Bollmann K, Braunisch V, Fiedler W, Grünschachner-Berger V, Mollet P, Nopp-Mayr U, Schroth K-E, Storch I & Suchant R 2021: The impact of wind turbines on Western Capercaillie *Tetrao urogallus* – Summary of an international research project. Vogelwarte 59: 21–28.

Here we present a summary of an international research project, which studied the effects of wind turbines on Western Capercaillie *Tetrao urogallus*. Over a five-year period, we studied whether wind turbines affect Capercaillie in terms of habitat use, stress physiology and reproductive success. By systematically mapping indirect signs of Capercaillie presence (e.g. feathers, droppings) in Germany, Austria and Sweden as well as by tagging Capercaillie with GPS-transmitters in Sweden, we found that wind turbines produced an attenuated selection of habitats, indicating a net habitat deterioration. This was detectable up to 650 m (indirect signs) and 865 m (GPS-transmitters) distance from the turbines. We could not disentangle single drivers of these effects due to the collinearity of the wind turbine-predictors (i.e. proximity, shadow flickering, noise). The tagged birds further showed a reduced habitat selection close to roads which had been constructed for the maintenance of wind turbines, indicating an additional effect of wind turbines on Capercaillie. By measuring stress hormone metabolites in fecal droppings, no effect of wind turbines on Capercaillie stress hormone levels was found. We only quantified reproductive success in the Swedish study area. Thereby, we found no difference between the wind park and the reference area without wind turbines. Reports on documented cases of deadly Capercaillie collisions with wind turbines provide evidence for a further impact of wind turbines on the species; however, until this point systematic studies regarding the collision risk of Capercaillie with wind turbines are still missing. For future wind turbine construction plans, several effects must be considered: Reduced habitat use as a form of net habitat deterioration, both around the turbines and around the roads constructed for permanent maintenance of wind turbines, and collisions with wind turbines.

✉ JC, RS: FVA-Wildtierinstitut, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Wonnhaldestr. 4, 79100 Freiburg. E-Mail: joy.coppes@forst.bwl.de, rudi.suchant@forst.bwl.de

KB: Biodiversität und Naturschutzbiologie, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Schweiz. E-Mail: kurt.bollmann@wsl.ch

VB: Waldnaturschutz, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Wonnhaldestr. 4, 79100 Freiburg und Institut für Ökologie und Evolution, Abt. Naturschutzbiologie, Universität Bern, Baltzerstrasse 6, 3012 Bern, Schweiz. E-Mail: veronika.braunisch@iee.unibe.ch

WF: Max-Planck-Institut für Verhaltensbiologie, Am Obstberg 1, 78315 Radolfzell. E-Mail: fiedler@ab.mpg.de

VGB: Naturpark Sölk-täler GmbH, 107, 8961 Stein an der Enns, Österreich. E-Mail: anderkraeuterin@aon.at

PM: Schweizerische Vogelwarte, Förderung der Vogelwelt, Seerose 1, 6204 Sempach, Schweiz.

E-Mail: pierre.mollet@vogelwarte.ch

UNM: Department für Integrative Biologie und Biodiversitätsforschung, Universität für Bodenkultur Wien,

Gregor-Mendel-Straße 33, 1180 Wien, Österreich. E-Mail: ursula.nopp-mayr@boku.ac.at

KES: Auerwild Hegering Freudenstadt, Calwer Straße 27, 75385 Bad Teinach-Zavelstein. E-Mail: k.e.schroth@cw-net.de

IS: Professur für Wildtierökologie und Wildtiermanagement, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Tennenbacher Str. 4, 79106 Freiburg. E-Mail: ilse.storch@wildlife.uni-freiburg.de

1 Einleitung

Unter den erneuerbaren Energien ist die Stromerzeugung mit Windenergie aktuell der in Deutschland am schnellsten wachsende regenerative Energiesektor (AGEE-Stat 2020). Das hat zur Folge, dass an vielen Orten Windenergieanlagen (WEA) gebaut wurden oder in Planung sind, nicht ohne Folgen für die Umwelt. So konnten im letzten Jahrzehnt negative Auswirkungen von WEA auf viele frei lebende Tierarten nachgewiesen

werden (Kuvlesky et al. 2007; Drewitt & Langston 2008), was zur Folge hat, dass beim weiteren Ausbau von WEA die Belange des Natur- und Umweltschutzes stärker berücksichtigt werden müssen. Bei den bislang untersuchten und dokumentierten Auswirkungen handelt es sich einerseits um tödliche Kollisionen, insbesondere von Vögeln und Fledermäusen, mit den Türmen oder den Rotorblättern der WEA (Cryan & Barclay 2009;

Krijgsveld et al. 2009; De Lucas & Perrow 2017). Bei letzteren können Fledermäuse nicht nur durch direkte Kollisionen, sondern auch durch ein Barotrauma zu Tode kommen, das durch den im Bereich der Rotorblätter bestehenden Unterdruck ausgelöst wird (Cryan & Barclay 2009). Aufgrund von Unterschieden in der Morphologie sind Vögel aber von Barotraumatata weniger betroffen (Baerwald et al. 2008). Zudem wird in zahlreichen Studien von Verhaltensänderungen von Wildtieren berichtet, die sich im Bereich der WEA auf das Feindvermeidungsverhalten (Rabin et al. 2006), das Territorialverhalten (Zwart et al. 2016) und die Lebensraumnutzung (Hötter 2017) beziehen.

Beim Bau von WEA in den europäischen Gebirgsregionen wird deren Einfluss auf Raufußhühner häufig kontrovers diskutiert (Abb. 1). Während negative Effekte von WEA auf Raufußhühner von manchen Autoren negiert werden (Brunner & Friedel 2019), konnten wir in der Fachliteratur viele Studien finden, die negative Auswirkungen von WEA auf Raufußhühner belegen (Coppes et al. 2020a). Beispielsweise wurden Kollisionen von Birkhühnern *Lyrurus tetrix* und Auerhühnern *Tetrao urogallus* mit Türmen von WEA nachgewiesen (Deutz & Grünschnachner-Berger 2006; Zeiler & Grünschnachner-Berger 2009; Rönning 2017; González 2018; Langgemach & Dürr 2019). Zudem wurde, sowohl beim Birkhuhn als auch beim Auerhuhn, eine Abnahme der Anzahl balzender Hähne an Balzplätzen oder die Verschiebung von Balzplätzen in weiter von der WEA entfernte Gebiete festgestellt (Zeiler & Grünschnachner-Berger 2009; Zwart et al. 2015; Rönning 2017).

Um eine Grundlage für die Bewertung von WEA in Auerhuhn-Lebensräumen zu schaffen, wurde das internationale Forschungsprojekt „Auerhuhn und Windenergie“ initiiert. Ziel des Projektes war es, über eine Laufzeit von fünf Jahren mit verschiedenen Methoden

zu untersuchen, ob und wie WEA Auerhühner beeinflussen. In Untersuchungsgebieten in Deutschland, Österreich und Schweden wurde analysiert, ob WEA 1) die Raumnutzung der Zielart beeinflussen, 2) zu einem erhöhtem Stresshormonlevel führen und 3) den Reproduktionserfolg verändern. In diesem Artikel fassen wir die Methoden und Ergebnisse des Projektes zusammen. Der Projektabschlussbericht ist in deutscher Sprache online verfügbar (www.fva-bw.de).

2 Material und Methode

2.1 Das Auerhuhn

Auerhühner bewohnen in Zentral Europa lichte, strukturreiche Gebirgsmisch- und Nadelwälder mit reicher Bodenvegetation und Zwergstrauchschicht, wobei Heidelbeere *Vaccinium myrtillus* und andere Vaccinien-Arten eine wichtige Rolle spielen (Storch 1995; Bollmann et al. 2011; Zohmann et al. 2014). Obwohl die Populationen dieser Art in großen Teilen ihres Verbreitungsgebietes abnehmen, wird der weltweite Bestand auf Grund der großen borealen Vorkommen nicht als gefährdet eingestuft (BirdLife International 2016). Viele Bestände in Süd- und Zentraleuropa sind jedoch rückläufig und in zahlreichen kleineren Verbreitungsgebieten ist die Art im letzten Jahrhundert bereits ausgestorben oder aktuell vom Aussterben bedroht (Storch 2007). Auch in Deutschland ist das Auerhuhn in der Roten Liste der Brutvögel als „vom Aussterben bedroht“ eingestuft (Ryslavy et al. 2020) und gilt als „streng geschützte Art“ (BNatSchG §7, Abs. 2, Nr. 14). Als Hauptrückgangursachen gelten Lebensraumverlust und -verschlechterung (Storch 2000). Aber auch eine Zunahme von Prädatoren (Jahren et al. 2016; Kämmerle et al. 2017) und Freizeitaktivitäten (Coppes et al. 2017) sowie klimatische Veränderungen (Braunisch et al. 2013) spielen eine Rolle beim Rückgang des Auerhuhns. Es gibt viele Bemühungen zum Erhalt der lokalen Vorkommen in Form von Managementplänen (Suchant & Braunisch 2008) oder Auswilderungsprogrammen entweder durch Bestandsstützungen oder Wiederansiedlungsprogramme (Siano & Klaus 2013; Siano & Pertl 2018).

Abb. 1: Durch Ihren Einfluss auf die Umwelt wird die Erstellung von Windenergieanlagen in den europäischen Gebirgsregionen häufig kontrovers diskutiert. – *Due to the environmental impact, the construction of wind turbines in European mountain regions is often controversially debated.*



2.2 Untersuchungsgebiete

Um den Einfluss von WEA auf Auerhühner zu untersuchen, wurden in sechs verschiedenen Untersuchungsgebieten Daten erhoben. Zwei Gebiete lagen in Deutschland (Schwarzwald, Baden-Württemberg), drei in Österreich (Bundesland Steiermark) und eines in Schweden (Provinzen Dalarna und Gävleborg). Pro Untersuchungsgebiet gab es eine WEA-Fläche und eine Referenzfläche mit vergleichbaren Lebensraumbedingungen ohne WEA, auf denen die gleichen Aufnahmen durchgeführt wurden. Sofern möglich, wurden vor und nach dem Bau der WEA Aufnahmen durchgeführt, um einen Vorher-Nachher-Vergleich zu ermöglichen. In allen Gebieten umfasste die Aufnahme- und Referenzfläche sowohl den Nahbereich der WEA als auch die Umgebung bis zu einem Abstand von 2,5 km zu den WEA, um den Effekt der Distanz zu untersuchen.

2.3 Methoden

Lebensraumnutzung

Mit zwei Methoden wurde untersucht, ob WEA die Lebensraumnutzung von Auerhühnern beeinflussen: (1) Mittels systematischer Kartierung von indirekten Auerhuhn-Nachweisen und (2) durch die Besenderung von Auerhühnern.

Bei der ersten Methode wurden auf systematisch in einem regelmäßigen Raster angelegten Stichprobenflächen auf den WEA-Flächen und den Referenzflächen sowohl vor als auch nach dem Bau von WEA indirekte Auerhuhn-Nachweise (Federn, Kot, Eierschalen) (Abb. 2) standardisiert gesucht und im Sommer kartiert (Coppes et al. 2020b). Gleichzeitig wurden auf den Stichprobenflächen jene Lebensraumvariablen (z. B. Waldstrukturen, Baumartenzusammensetzung, Bodenvegetation) erhoben, die das Raum-Zeit-Verhalten von Auerhühnern beeinflussen (Storch 1995; Bollmann et al. 2008; Zohmann et al. 2014). Mit diesen Daten konnten wir Zusammenhänge zwischen der Lebensraumnutzung und den von der WEA unabhängigen Lebensraumvariablen in den Auswertungen berücksichtigen und damit die Nettoeffekte der WEA auf das Raum-Zeit-Verhalten der Zielart ableiten. Die Daten wurden auf zwei Ebenen analysiert: 1) Die Nachweis-dichte (= Prozentsatz der Stichprobenflächen pro Erhebungsgebiet mit indirekten Nachweisen des Auerhuhns) wurde

hinsichtlich ihrer zeitlichen Dynamik (Jahre vor und nach dem Bau der WEA) und im Vergleich „vor Bau vs. nach Bau“ sowie „WEA-Fläche vs. Referenzfläche“ analysiert. 2) Für die Analyse der kleinräumigen Lebensraumnutzung (= Präsenz oder Absenz des Auerhuhns) im Bereich um die WEA wurden die Daten auf Ebene der einzelnen Stichprobenflächen berücksichtigt. Dafür wurde zunächst ein Index der Lebensraumeignung jeder Stichprobenfläche berechnet (= Wahrscheinlichkeit des Auerhuhn-Nachweises in Abhängigkeit von Lebensraumvariablen ohne WEA Einfluss), um Unterschiede in der Lebensraumeignung zwischen den einzelnen Stichprobenflächen, Gebieten und Jahren berücksichtigen zu können. Dieser Index der Lebensraumeignung floss dann zusammen mit potenziellen Einflussgrößen der WEA (Distanz, Schallemission, Schattenwurf, Sichtbarkeit der WEA) in die weiteren Analysen ein, womit letztlich Nettoeffekte der WEA auf die Vorkommenswahrscheinlichkeit des Auerhuhns berechnet wurden.

Mit der zweiten Methode wurde der Einfluss von WEA auf die Lebensraumnutzung durch Besenderung von Auerhühnern untersucht (Taubmann et al. 2021). Im schwedischen Untersuchungsgebiet wurden Auerhühner möglichst nah an bestehenden WEA gefangen und mit GPS-Rucksacksendern ausgestattet. Die telemetrischen Erfassungen wurden getrennt für zwei unterschiedliche Jahreszeiten ausgewertet, nämlich im Frühling zur Balzzeit und im Sommer. Flächendeckende Daten zur Topographie und Landnutzung sowie forstliche Daten zu den Waldbeständen im Gebiet wurden in den Auswertungen berücksichtigt, um deren Einfluss auf die Lebensraumnutzung der Auerhühner zu untersuchen. Die Analyse der Lebensraumnutzung durch Auerhühner erfolgte mittels eines „presence-available-Designs“, bei dem die von der Zielart genutzten („presence“) Bedingungen mit den im Untersuchungsgebiet verfügbaren („available“) Bedingungen verglichen werden.

Stressphysiologie

Die Stressphysiologie von Wildtieren wird von vielen verschiedenen endogenen und exogenen Faktoren geprägt (Hadinger et al. 2015). Bei Auerhühnern ist bekannt, dass Störungen durch Freizeitaktivitäten zu einem erhöhten Stresshormonlevel führen können (Thiel et al. 2008, 2011; Coppes



Abb. 2: Mit dem systematischen Kartieren von indirekten Nachweisen, wie Federn, kann die Habitatnutzung des Auerhuhns untersucht werden. – *The systematical mapping of Capercaillie signs such as feathers is a reliable method to study Capercaillie habitat use.*

et al. 2018). Deshalb haben wir im Rahmen dieses Projektes untersucht, ob WEA den Stresshormonlevel von Auerhühnern beeinflussen. Nachweisbar ist der Stresshormonlevel im Auerhuhn-Kot, in dem Abbauprodukte (Metaboliten) der Stresshormone (Glucocorticoide) enthalten sind (Thiel et al. 2005). Im Winter wurden in fünf Untersuchungsgebieten bei geschlossener Schneedecke (um einen Einfluss der Temperatur auf die Stresshormon-Metaboliten zu minimieren; Thiel et al. 2005) Kotproben gesammelt und auf ihren Gehalt an Stresshormon-Metaboliten analysiert. Die Auswertung des Stresshormonlevels hinsichtlich eines potenziellen Einflusses von WEA erfolgte mit zwei Ansätzen: (1) Vergleich der Studienggebiete und (2) Vergleich der Einzelproben.

Reproduktion

Bei Raufußhühnern beeinflussen viele Faktoren den Reproduktionserfolg, beispielsweise der Lebensraum (Börset & Krafft 1973; Storaas et al. 1982; Baines et al. 2004), die Witterungsbedingungen (Swenson et al. 1993; Moss et al. 2001) oder die Dichte an Prädatoren (Storaas et al. 1999; Baines et al. 2004; Tornberg et al. 2012). Der Reproduktionserfolg von Raufußhühnern wird häufig durch das Verhältnis von Küken pro Henne in einem Gebiet im Frühsommer quantifiziert (Moss 1985; Baines et al. 2004). Dieser Wert ist als Index für den Reproduktionserfolg zu betrachten. In unserer Studie war das nur im schwedischen Untersuchungsgebiet mit Hilfe von speziell trainierten Hunden realisierbar. So gelang es im August, den jährlichen Reproduktionserfolg (ausgedrückt durch den Reproduktionsindex) sowohl im Windpark, als auch auf der Referenzfläche zu erheben. Neben den Reproduktionsindex wurde zudem die mittlere Größe eines Gesperres (durchschnittliche Anzahl an Küken pro führende Henne) erhoben.

3 Ergebnisse

Lebensraumnutzung

Die statistischen Analysen der Daten der indirekten Nachweise und der besenderten Auerhühner zeigten, dass die Lebensraumnutzung der Auerhühner durch WEA beeinflusst wird. Bei beiden Methoden konnten Effekte von WEA auf die Lebensraumnutzung der Auerhühner nachgewiesen werden: Die Intensität der Lebensraumnutzung nahm mit zunehmender Nähe zu WEA ab. Dieser Effekt war bei den indirekten Nachweisen bis zu 650 m von der WEA (Coppes et al. 2020b) und bei den besenderten Tieren im Sommer bis zu ca. 865 m (Unsicherheitsbereich: 784-1025 m) nachweisbar (Taubmann et al. 2021). Aufgrund einer nach dem Erstellen des Abschlussberichts durchgeführten Kreuzvalidierung weicht dieser Wert geringfügig von dem dort angegebenen Wert ab. Sowohl bei den indirekten Nachweisen als auch bei den besenderten Tieren nahm die Lebensraumnutzung außerdem mit zunehmendem Schattenwurf sowie höheren Schallemissionen (Nachweisbar bis Werte über ca. 40-45 dB) ab. In Schweden sank die Nutzung von Flächen durch die besenderten Tiere mit der Zahl von WEA im Umkreis 800 m (Taubmann et al. 2021). Dort wurde sowohl in der Balzzeit als auch im Sommer ein negativer Effekt der WEA-

Zufahrtswege festgestellt: Der Nahbereich dieser Wege wurde durch die besenderten Auerhühner weniger genutzt (Taubmann et al. 2021). Obwohl bei den besenderten Tieren im Sommer eine geringere Nutzung von Bereichen erkennbar war, in denen mehr als vier WEA sichtbar waren, war bei der Analyse der indirekten Nachweise kein negativer Effekt durch die Sichtbarkeit von WEA erkennbar. Alle diese WEA-Effekte waren unabhängig von der durch verschiedenen Variablen beschriebenen Lebensraumeignung. Im Vorher-Nachher-Vergleich führte der bis zu einer Entfernung von 865 m nachgewiesene Effekt von WEA nicht bis zu einer Reduktion der Nachweisdichte im gesamten Untersuchungsgebiet um die WEA (Radius 2,5 km).

Stressphysiologie

Insgesamt wurden 579 Kotproben gesammelt und auf Stresshormon-Metabolite analysiert. Beim Vorher-Nachher-Vergleich zwischen den Studienggebieten konnte kein Effekt von WEA auf das Stresshormonlevel von Auerhühnern festgestellt werden. Ein entsprechender Vergleich der einzelnen Proben, mit dem ein kleinräumiger Effekt nachgewiesen werden könnte, führte zum gleichen Ergebnis. Bei Letzterem konnte mangels genetischer Zuordnung allerdings die individuelle Variation nicht berücksichtigt werden, die ggfs. zu einem anderen Ergebnis führen würde. Es konnte somit kein Effekt von WEA auf das Stresshormonlevel von Auerhühnern festgestellt werden.

Reproduktionserfolg

In drei Erhebungsjahren wurde im Untersuchungsgebiet in Schweden sowohl im Windpark nach dem Bau der WEA, als auch auf der Referenzfläche ein Reproduktionsmonitoring durchgeführt. Insgesamt wurden 74 Auerhennen lokalisiert. Hiervon waren 34 führende Auerhennen, mit insgesamt 113 Küken. Der Reproduktionsindex und die mittlere Größe eines Gesperres schwankten zwischen den Jahren (Reproduktionsindex: 0,9–2,7 Küken pro Henne, Gesperregröße: 2,1–5,3 Küken pro Gesperre) unterschieden sich allerdings nicht signifikant zwischen dem Windpark und der Referenzfläche ohne WEA.

4 Diskussion

Unsere Studie ergab, dass Auerhühner von WEA in ihrer Lebensraumnutzung beeinflusst werden. Die verminderte Lebensraumnutzung bis zu 865 m deutet auf eine Beeinträchtigung durch WEA hin. Es konnte jedoch nicht geklärt werden, welche WEA-Parameter diese Beeinträchtigung verursachen, da alle WEA-Prädiktoren (d. h. Distanz zu WEA, Schattenwurf und Schallemission) stark korreliert sind. Daraus ist abzuleiten, dass das Verhalten von Auerhühnern entweder durch den Schattenwurf der WEA oder durch von der WEA verursachte Geräusche oder sich bewegende

Rotorblätter und/oder durch andere Faktoren, die mit der WEA zusammenhängen, beeinflusst wird.

Die Entfernung von der WEA, innerhalb derer Auerhühner ihre Lebensräume weniger nutzen, ist mit 865 m größer als die zuvor für Birkhühner in WEA-Gebieten in Österreich (reduzierte Habitatnutzung innerhalb 500 m um WEA; Grünschachner-Berger & Kainer 2011) und Schottland (Verschiebung von Balzplätzen innerhalb von 500 m um WEA; Zwart et al. 2015) nachgewiesenen Distanzen. Unsere Ergebnisse stimmen mit den Ergebnissen einer spanischen Studie nahezu überein, bei der nach dem Bau einer WEA eine Reduktion indirekter Auerhuhn-Nachweise über eine Distanz von bis zu 1000 m von der WEA festgestellt wurde (González & Ena 2011; González et al. 2016). Im Vergleich zu den Auswirkungen von Freizeitinfrastrukturen (d.h. Wanderwege, Mountainbike-Strecken, Loipen, Skipisten) auf das Verhalten von Auerhühnern (Coppes et al. 2017) sind die Effekte von WEA anscheinend über eine größere Distanz hinweg wirksam. Bei den besenderten Auerhühnern wurde neben direkten Effekten der WEA auch eine geringere Nutzung des Nahbereichs von Zufahrtswegen zur WEA festgestellt. Dies könnte durch eine im Vergleich zu Bereichen innerhalb des Waldbestandes stärkere menschliche Anwesenheit auf den Wegen verursacht werden (Summers et al. 2007). Andererseits könnte die geringere Nutzung der Lebensräume in der Nähe von Wegen auch mit einer intensiveren Anwesenheit von Prädatoren (vor allem Rotfuchs *Vulpes vulpes*; Agha et al. 2017; Iannarilli et al. 2021.) zusammenhängen.

Ein Effekt von WEA auf den Stresshormonlevel von Auerhühnern konnte nicht nachgewiesen werden. Gleichzeitig konnten wir auch nicht abschätzen, in welchem Ausmaß weitere Umweltfaktoren den Stresshormonlevel mitbeeinflusst haben (z.B. die Prädatordichte). Die Varianz zwischen Individuen, die den größten Teil der Gesamtvarianz in den Stresshormonlevel beim Auerhuhn ausmacht (Coppes et al. 2018), könnte nur durch eine zusätzliche genetische Zuordnung der einzelnen Probe zu dem jeweiligen Individuum beurteilt werden. Da diese zusätzlichen Genetikuntersuchungen nicht durchgeführt wurden, konnte diese Differenzierung in unserer Studie aber nicht berücksichtigt werden. Somit bleibt auch unklar, welchen Einfluss die individuellen Unterschiede auf das Ergebnis haben. Es ist zudem unklar, ob sich die WEA während des Zeitraums, in dem die Proben gesammelt worden sind, gedreht (und die damit verbundenen Geräusche produziert) haben, ob es im Gebiet zu diesem Zeitpunkt Schattenwurf gab (z.B. kein Schattenwurf bei Bewölkung) und ob WEA sichtbar waren (z.B. nicht sichtbar bei Nebel), was gegebenenfalls die Ergebnisse beeinflussen könnte. Die WEA wurden in unseren Untersuchungsgebieten bis zum Herbst errichtet, während die Proben aus dem Winter stammen. Möglicherweise haben sich die Tiere in der Zwischenzeit schon an den

WEA gewöhnt, allerdings spricht die Veränderung in der Lebensraumnutzung, welche über eine lange Zeit auftritt, gegen eine schnelle Habituation.

Ein Unterschied im Reproduktionserfolg zwischen der WEA-Fläche und der Referenzfläche konnte im schwedischen Untersuchungsgebiet nicht festgestellt werden. Der Index für den Reproduktionserfolg unterschied sich vor allem zwischen den Jahren, wobei sich die Unterschiede sowohl auf der WEA-Fläche als auch der Referenzfläche sehr ähnlich entwickelten. Solche jährlichen Fluktuationen im Reproduktionserfolg sind bei Auerhühnern häufig und werden vor allem Veränderungen in Witterung und Prädatordichte zugeschrieben (Lindström 1996). Die Ergebnisse unserer Studie spiegeln allerdings nur den Reproduktionserfolg nach Bau der WEA wieder. Da es in diesem Untersuchungsgebiet keine Daten zum Reproduktionserfolg vor Bau des Windparks gibt, sind Aussagen über mögliche Veränderungen des Reproduktionserfolges im Vergleich zum Zeitrahmen vor Bau der WEA nicht möglich.

Im Hinblick auf eine etwaige Kompensation der durch die WEA verursachten negativen Effekte zeigen die Ergebnisse, dass die Beeinträchtigung durch die WEA nicht auf der gleichen Fläche ausgeglichen werden können, da die verringerte Nutzung der Umgebung von WEA unabhängig von der Lebensraumeignung ist. Gleiches gilt für die Nahbereiche von Zufahrtswegen: Die Besenderung von Auerhühnern hat gezeigt, dass Lebensräume umso weniger genutzt werden, je näher sie an den Zufahrtswegen von WEA liegen. Dies weist auf eine weitere, indirekte Beeinträchtigung der Vögel hin, die durch die begleitende Infrastruktur verursacht wird und die bei Fragen der Kompensation berücksichtigt werden muss.

Neben den von uns nachgewiesenen Effekten weist die Fachliteratur zusätzlich darauf hin, dass Auerhühner auch tödlich mit WEA kollidieren (Rönning 2017; González 2018; Langgemach & Dürr 2019). Gegenwärtig ist deren Häufigkeit aber nicht einschätzbar, denn alle dokumentierten Fälle beruhen auf Zufallsfunden. Systematischen Studien zum Kollisionsrisiko bzw. der entsprechenden Mortalität von Auerhühnern durch WEA fehlen. Möglichkeiten, Kollisionen von Raufußhühnern an Türmen von WEA zu reduzieren, wurden in Norwegen untersucht. Dabei wurde gezeigt, dass das Anstreichen der unteren 10 m eines Turmes mit schwarzer Farbe die Anzahl der Kollisionen von Moorschneehühnern *Lagopus lagopus* um 48 % reduzierte (Stokke et al. 2020). Diese Maßnahme könnte bei bereits bestehenden Anlagen unter Umständen auch für Auerhühner effektiv sein.

Zusammenfassend kann aus den Ergebnissen unseres Forschungsprojektes abgeleitet werden, dass beim Bau von WEA in auerhuhnrelevanten Gebieten folgende Auswirkungen auf die Tiere beachtet werden müssen: Kollisionsgefahr, Beeinträchtigung der Nutzbarkeit des

Lebensraums im Umkreis der WEA sowie Beeinträchtigung der Nutzbarkeit des Lebensraums durch begleitende Infrastruktur (z. B. Wege).

Dank

Wir danken allen, die uns bei der Datenerfassung in Deutschland, Österreich und Schweden unterstützt haben. Ein besonderer Dank geht an Hendrik Andrén, Leonie Culmann, Jim-Lino Kämmerle, Annette Kohnen und Julia Taubmann für ihre Mitarbeit im Projekt. Das Forschungsprojekt wurde vom Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg sowie dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg finanziert und von Bundesverband WindEnergie e. V. (BWE) – Landesverband Baden-Württemberg, Elektrizitätswerk Mittelbaden AG & Co. KG, EnBW – Energie Baden-Württemberg AG, ENERCON, Ökostromgruppe Freiburg, Vindval – Forschungsprogramm der Schwedischen Energie und Umweltbehörde, Windkraft Schonach und RES-Gruppe kofinanziert.

5 Zusammenfassung

In einem internationalen Forschungsprojekt wurde untersucht, ob und wie sich Windenergieanlagen (WEA) auf die Lebensraumnutzung, Stressphysiologie und den Reproduktionserfolg von Auerhühnern auswirken. In diesem Artikel fassen wir die Ergebnisse des fünfjährigen Projekts zusammen: Durch Kartierung von indirekten Auerhuhn-Nachweisen (Federn, Kot) in Deutschland, Österreich und Schweden sowie durch Besondern von Auerhühnern in Schweden konnten wir statistisch abgesichert nachweisen, dass Waldbereiche, in denen WEA stehen, mit zunehmender Nähe zu WEA von Auerhühnern weniger genutzt werden. Dieser Effekt war durch indirekte Nachweise ganzjährig bis zu einer Distanz von 650 m zur WEA und bei den besenderten Tieren im Sommer bis zu einer Distanz von 865 m nachweisbar. Was diese verringerte Nutzung des Lebensraumes verursacht, konnte in der Studie nicht geklärt werden, da die Faktoren, welche den Bereich um WEA beeinträchtigen (d. h. Distanz, Schattenwurf, Geräuschemissionen, Sichtbarkeit der WEA), hoch korreliert sind. Bei den besenderten Tieren wurde zudem festgestellt, dass die Nahbereiche der Zufahrtswege zu den WEA weniger genutzt wurden als weiter entfernte Bereiche, was auf eine zusätzliche, indirekte Beeinträchtigung hindeutet. In allen drei Ländern konnte kein Effekt von WEA auf die durchschnittliche Konzentration von Stresshormon-Metaboliten im Auerhuhnkot nachgewiesen werden. Auswirkungen auf den Reproduktionserfolg wurden nur im schwedischen Untersuchungsgebiet untersucht. Hierbei wurde kein Unterschied zwischen dem Reproduktionserfolg auf der WEA-Fläche und der Referenzfläche ohne WEA gefunden. Zum Kollisionsrisiko von Auerhühnern mit WEA gibt es bisher weder systematische Untersuchungen noch konnte dieses mit der hier beschriebenen Studie untersucht werden. Aber aus der Zusammenstellung von Zufallsfunden von Kollisionen (vor allem mit den WEA-Türmen) aus verschiedenen Regionen ist ein Kollisionsrisiko von Auerhühnern mit WEA nicht

auszuschließen. Zusammenfassend sind beim Bau von WEA folgende Auswirkungen von WEA auf Auerhühner zu beachten: tödliche Kollisionsgefahr, Beeinträchtigung der Nutzbarkeit des Lebensraums im Bereich bis zu 865 m um die WEA und eine indirekte Beeinträchtigung entlang der Zufahrtswege.

6 Literatur

- AGEE-Stat 2020: Erneuerbare Energien in Deutschland Daten zur Entwicklung im Jahr 2019. Geschäftsstelle der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) am Umweltbundesamt. Herausgeber: Umweltbundesamt Fachgebiet V 1.5, Dessau-Roßlau. ISSN 2363-8273.
- Agha M, Smith AL, Lovich JE, Delaney D, Ennen JR, Briggs J, Fleckenstein LJ, Tennant LA, Puffer SR, Walde A, Arundel TR, Price SJ & Todd BD 2017: Mammalian mesocarnivore visitation at tortoise burrows in a wind farm. *Journal of Wildlife Management* 81: 1117-1124.
- Baines D, Moss R & Dugan D 2004: Capercaillie breeding success in relation to forest habitat and predator abundance. *Journal of Applied Ecology* 41: 59-71.
- Baerwald E, D'Amours G, Klug B & Barclay R 2008: Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. *Current Biology* 18: 695-696.
- BirdLife International 2016: *Tetrao urogallus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016 Version 3.1. e. T22679487A85942729. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22679487A85942729.en>. Zugriff am 18.02.2021.
- Bollmann K, Friedrich A, Fritsche B, Graf RF, Imhof S & Weibel P 2008: Kleinräumige Habitatnutzung des Auerhuhns im Alpenraum. *Der Ornithologische Beobachter* 105: 53-61.
- Bollmann K, Graf RF & Suter W 2011: Quantitative predictions for patch occupancy of Capercaillie in fragmented habitats. *Ecography* 34: 276-286.
- Börset E & Kraft A 1973: Black Grouse and Capercaillie brood habitats in a Norwegian spruce forest. *Oikos* 24: 1-7.
- Braunisch V, Coppes J, Schmid H, Suchant R, Arlettaz R & Bollmann K 2013: Selecting from correlated climate variables: a major source of uncertainty for predicting species distributions under climate change. *Ecography* 36: 1-13.
- Brunner H & Friedel T 2019: Windkraft und Birkhuhnschutz – Fortbestand und Raumnutzung des Birkhuhns in ostalpinen Windparks. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 51: 584-589.
- Coppes J, Ehrlicher J, Thiel D, Suchant R & Braunisch V 2017: Outdoor recreation causes effective habitat reduction in Capercaillie *Tetrao urogallus*: a major threat for geographically restricted populations. *Journal of Avian Biology* 48: 1583-1594.
- Coppes J, Kämmerle J-L, Willert M, Kohnen A, Palme R & Braunisch V 2018: The importance of individual heterogeneity for interpreting faecal glucocorticoid metabolite levels in wildlife studies. *Journal of Applied Ecology* 55: 2043-2054.
- Coppes J, Braunisch V, Bollmann K, Storch I, Mollet P, Grünschachner-Berger V, Taubmann J, Suchant R & Nopp-Mayr U 2020a: The impact of wind energy facilities on grouse: a systematic review. *Journal of Ornithology* 161: 1-15.

- Coppes J, Kämmerle J-K, Grünschachner-Berger V, Braunisch V, Bollmann K, Mollet P, Suchant R & Nopp-Mayr U 2020b: Consistent effects of wind turbines on habitat selection of Capercaillie across Europe. *Biological conservation* 244: 108529.
- Cryan PM & Barclay RMR 2009: Causes of bat fatalities at wind turbines: Hypotheses and predictions. *Journal of Mammalogy* 90: 1330-1340.
- De Lucas M & Perrow M 2017: Birds: collisions. In: Perrow M (ed) *Wildlife and Wind Farms - Conflicts and Solutions*, Volume 1 Onshore: Potential Effects: 155-190. Pelagic Publishing, Exeter, UK.
- Deutz A & Grünschachner-Berger V 2006: Birkhahnenverluste im Bereich einer Windkraftanlage. *Der Anblick* 1: 16-17.
- Drewitt AL & Langston RHW 2008: Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134: 233-266.
- González MA & Ena V 2011: Cantabrian Capercaillie signs disappeared after a wind farm construction. *Chioglossa* 3: 65-74.
- González MA, García JT, Wengert E & Fuertes B 2016: Severe decline in Cantabrian Capercaillie *Tetrao urogallus cantabricus* habitat use after construction of a wind farm. *Bird Conservation International* 26: 256-261.
- González MA 2018: Female Cantabrian Capercaillie dead by collision with wind turbine. *Grouse News* 55: 15-17.
- Grünschachner-Berger V & Kainer M 2011: Black Grouse *Tetrao tetrix* (Linnaeus 1758): how to live between skiing areas and windparks. *Egretta* 52: 46-54.
- Hadinger U, Haymerle A, Knauer F, Schwarzenberger F & Walzer C 2015: Faecal cortisol metabolites to assess stress in wildlife: evaluation of a field method in free-ranging Chamois. *Methods in Ecology and Evolution* 6: 1349-1357.
- Hötter H 2017: Birds: displacement. In: Perrow M (ed) *Wildlife and Wind Farms - Conflicts and Solutions*, Volume 1: 119-154. Pelagic Publishing, Exeter, UK.
- Iannarilli F, Erb J, Arnold T & Fieberg J 2021: Evaluating species-specific responses to camera-trap survey designs. *Wildlife Biology* 2021. <https://doi.org/10.2981/wlb.00726>.
- Jahren T, Storaas T, Willebrand T, Fosslund Moa P & Hagen B-R 2016: Declining reproductive output in Capercaillie and Black Grouse – 16 countries and 80 years. *Animal Biology* 66: 363-400.
- Kämmerle J-L, Coppes J, Ciuti S, Suchant R & Storch I 2017: Range loss of a threatened grouse species is related to the relative abundance of a mesopredator. *Ecosphere* 8: e01934. 01910.01002/ecs01932.01934.
- Krijgsveld KL, Akershoek K, Schenk F, Dijkf F & Dirksen S 2009: Collision risk of birds with modern large wind turbines. *Ardea* 97: 357-366.
- Kuvlesky WP, Brennan LA, Morrison ML, Boydston KK, Ballard BM & Bryant FC 2007: Wind energy development and wildlife conservation: challenges and opportunities. *Journal of Wildlife Management* 71: 2487-2498.
- Langgemach T & Dürr T 2019: Informationen über Einflüsse der Windenergienutzung auf Vögel. – Stand 07. Januar 2019. https://lfu.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/vsw_dokwind_voegel.pdf.
- Lindström J 1996: Weather and grouse population dynamics. *Wildlife Biology* 2: 93-99.
- Moss R 1985: Rain, breeding success and distribution of Capercaillie *Tetrao urogallus* and Black Grouse *Tetrao tetrix* in Scotland. *Ibis* 128: 65-72.
- Moss R, Oswald J & Baines D 2001: Climate change and breeding success: decline of the Capercaillie in Scotland. *Journal of Animal Ecology* 70: 47-61.
- Rabin LA, Coss RG & Owings DH 2006: The effects of wind turbines on antipredator behavior in California Ground Squirrels (*Spermophilus beecheyi*). *Biological conservation* 131: 410-420.
- Rönning G 2017: Wind power developments kill Capercaillie. Tjäderkommittén. <http://www.tjaderobs.se/>. Letzter Zugriff: 17.02.2021.
- Ryslavý T, Bauer H-G, Gerlach B, Hüppop O, Stahmer J, Südbek P & Sudfeldt C (2020): Rote Liste der Brutvögel Deutschlands. 6. Fassung, 30. September 2020. *Ber. Vogelschutz* 57: im Druck.
- Siano R & Klaus S 2013: Capercaillie *Tetrao urogallus* release projects in Germany after 1950 – a review. *Vogelwelt* 134: 3-18.
- Siano R & Pertl C 2018: Versuch der Wiederansiedlung des Auerhuhns (*Tetrao urogallus*) im Harz – Rückblick und Schlussfolgerungen. *Beiträge zur Jagd- und Wildforschung* 43: 245-261.
- Stokke BG, Nygård T, Falkdalen U, Pedersen HC & May R 2020: Effect of tower base painting on Willow Ptarmigan collision rates with wind turbines. *Ecology and Evolution* 10: 5670-5679.
- Storaas T, Wegge P & Larsen BB 1982: Nest predation among Capercaillie and Black Grouse as affected by habitat location and cover In: Lovel TWI (ed) *Proceedings of the Second International Symposium on Grouse at Dalhousie Castle, Edinburgh, Scotland*: 131-138. World Pheasant Association, Exning, Suffolk.
- Storaas T, Kastdalen L & Wegge P 1999: Detection of forest grouse by mammalian predators: A possible explanation for high brood losses in fragmented landscapes. *Wildlife Biology* 5: 187-192.
- Storch I 1995: Habitat requirements of Capercaillie. In: Jenkins D (ed) *Proceedings of the 6th International Grouse Symposium*, 1995: 151-154.
- Storch I 2000: Conservation status and threats to grouse worldwide: an overview. *Wildlife Biology* 6: 195-204.
- Storch I 2007: Grouse: status survey and conservation action plan 2006-2010. Gland, Switzerland: IUCN and Fordingbridge, UK: World Pheasant Association.
- Suchant R & Braunisch V 2008: Rahmenbedingungen und Handlungsfelder für den Aktionsplan Auerhuhn: Grundlagen für ein integratives Konzept zum Erhalt einer überlebensfähigen Auerhuhnpopulation im Schwarzwald. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.
- Summers RW, McFarlane J & Pearce-Higgins J 2007: Measuring avoidance by Capercaillie *Tetrao urogallus* of woodlands close to tracks. *Wildlife Biology* 13: 19-27.
- Swenson JE, Saari L & Bonczar Z 1993: Effects of weather on Hazel Grouse reproduction: an allometric perspective. *Journal of Avian Biology* 25: 8-14.
- Taubmann J, Kämmerle J-L, Andrén H, Braunisch V, Storch I, Fiedler W, Suchant R & Coppes J 2021: Wind energy facilities affect resource selection of Capercaillie *Tetrao urogallus*. *Wildlife Biology* 2021(1) doi: 10.2981/wlb.00737

- Thiel D, Jenni-Eiermann S & Palme R 2005: Measuring corticosterone metabolites in droppings of Capercaillies (*Tetrao urogallus*). *Annals of the New York Academy of Sciences* 1046: 96-108.
- Thiel D, Jenni-Eiermann S, Braunisch V, Palme R & Jenni L 2008: Ski tourism affects habitat use and evokes a physiological stress response in Capercaillie *Tetrao urogallus*: a new methodological approach. *Journal of Applied Ecology* 45: 845-853.
- Thiel D, Jenni-Eiermann S, Palme R & Jenni L 2011: Winter tourism increases stress hormone levels in the Capercaillie *Tetrao urogallus*. *Ibis* 153: 122-133.
- Tornberg R, Reif V & Korpimäki E 2012: What explains forest grouse mortality: predation impacts of raptors, vole abundance, or weather conditions? *International Journal of Ecology* doi.org/10.1155/2012/375260.
- Zeiler HP & Grünschachner-Berger V 2009: Impact of wind power plants on Black Grouse, *Lyrurus tetrix* in alpine regions. *Folia Zoologica* 58: 173-182.
- Zohmann M, Immitzer M, Wöss M, Gossow H & Nopp-Mayr U 2014: Modelling habitat use of *Tetrao urogallus* L. in Austria for conservation issues. *Journal for Nature Conservation* 22: 223-234.
- Zwart MC, Robson P, Rankin S, Whittingham MJ & McGowan PJK 2015: Using environmental impact assessment and post-construction monitoring data to inform wind energy developments. *Ecosphere* 6: 1-11.
- Zwart MC, Dunn JC, McGowan PJK & Whittingham MJ 2016: Wind farm noise suppresses territorial defense behavior in a songbird. *Behavioral Ecology* 27: 101-108.